

2013年12月6日 COMSOL Conference Tokyo

有機物の分解挙動を考慮した 廃棄物埋立地の安定化シミュレーション

石森洋行



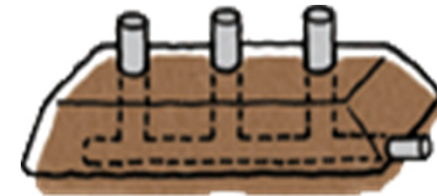
立命館大学
理工学部・環境システム工学科
(国立環境研究所 客員研究員)

研究目的

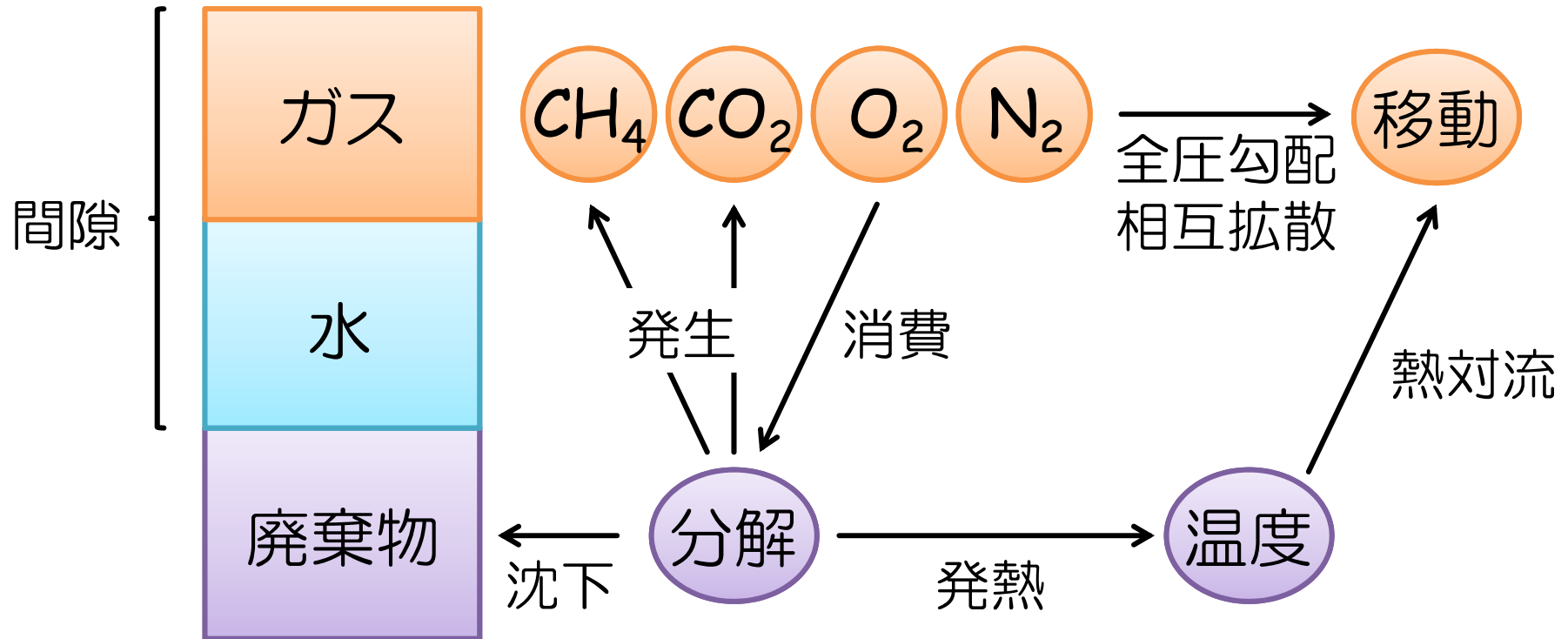
廃棄物の減量化やリサイクルが積極的に推進されているが、廃棄物をゼロにすることは不可能であり、どうしても有効利用できないものは、最終処分場に埋立処分せざるを得ない。

準好気性埋立とは、わが国の標準的な埋立方式であり、(1) 水環境への負荷軽減、(2) ガスの排出に伴う問題を防止し、(3) 埋立地管理期間の短縮といった優位性は認められているものの、その効果を確実に得るための設計・管理に関する根拠が乏しく、理論的な裏付けが必要である。

本報告では、廃棄物から発生する CH_4 や CO_2 ガス、廃棄物の分解に必要な O_2 ガスの動態を調べ、準好気性埋立地の性能評価に資する計算モデルを紹介する。



数理モデルの考え方



- 廃棄物の分解が完了するまでの時間 → 維持管理期間
- CH_4 や CO_2 放出量 → 温室効果ガス放出量の抑制効果
- なによりも、共通の考え方で評価できる

期待される成果



- 埋立構造の違い
 - 埋立物の種類や量の違い
 - 降雨量・気温の違い
- を共通の枠組みで評価できる
その地域に応じた処分場を!!!



計算モデルの概要

- 圧力・流れ場 (疑似二相流方程式)

$$\frac{\partial(\rho_w \theta_w)}{\partial p_w} \frac{\partial p_w}{\partial t} = \nabla \left[-\rho_w \frac{k_{rw} K}{n_w} (\nabla p_w + \rho_w g \nabla z) \right]$$

$$\frac{\partial(\rho_g \theta_g)}{\partial p_g} \frac{\partial p_g}{\partial t} = \nabla \left[-\rho_g \frac{k_{rg} K}{n_g} (\nabla p_g + \rho_g g \nabla z) \right] + Q_g$$

ガス発生/消費
に伴う圧力変化
 Q_g ($\text{kg/m}^3/\text{s}$)

$$Q_g = M_{\text{CH}_4} R_{\text{CH}_4} + M_{\text{CO}_2} R_{\text{CO}_2} + M_{\text{O}_2} R_{\text{O}_2} + \dots$$

- 濃度 (移流拡散方程式)

$$\frac{\partial(c_{\text{CH}_4} \theta_g)}{\partial t} + \nabla(-\theta_g D_e \nabla c_{\text{CH}_4} + u_g c_{\text{CH}_4}) = R_{\text{CH}_4}$$

$$\frac{\partial(c_{\text{CO}_2} \theta_g)}{\partial t} + \nabla(-\theta_g D_e \nabla c_{\text{CO}_2} + u_g c_{\text{CO}_2}) = R_{\text{CO}_2}$$

$$\frac{\partial(c_{\text{O}_2} \theta_g)}{\partial t} + \nabla(-\theta_g D_e \nabla c_{\text{O}_2} + u_g c_{\text{O}_2}) = R_{\text{O}_2}$$

$$\frac{\partial(c_{\text{N}_2} \theta_g)}{\partial t} + \nabla(-\theta_g D_e \nabla c_{\text{N}_2} + u_g c_{\text{N}_2}) = R_{\text{N}_2}$$

廃棄物分解に伴う
ガス発生量/消費量
 R_i ($\text{mol/m}^3/\text{s}$)

Sub1のモデル・実測値を活用

- 温度 (対流拡散方程式)

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t} + \nabla(-k_{eq} \nabla T + \rho c_p T) = Q_T$$

廃棄物からの
分解生成熱
 Q_T (W/m^3)

よくわからない
観測値になるように...

廃棄物分解・ガス発生/消費

- 分解性有機物

$$\frac{\partial W_{doc}}{\partial t} = -\frac{\partial W_{doc}^{ar}}{\partial t} - \frac{\partial W_{doc}^{an}}{\partial t}$$

- 一 好気分解速度

$$\frac{\partial W_{doc}^{ar}}{\partial t} = \left[\frac{x_{O_2}}{K_I^* + x_{O_2}} \right] n_e k^* W_{doc}$$

≤ 1 酸素濃度が少なくなると好気分解速度は低下
 ≤ 1 乾燥による活性低下

- 一 嫌気分解速度

$$\frac{\partial W_{doc}^{an}}{\partial t} = \left[1 - \frac{x_{O_2}}{K_I + x_{O_2}} \right] n_n k W_{doc}$$

≤ 1 酸素濃度が大きいと嫌気分解速度は低下
 ≤ 1 乾燥による活性低下

- メタン発生量

$$R_{CH_4} = \frac{\rho_d}{M_{CH_4}} \frac{\partial W_{doc}^{an}}{\partial t} \cdot DOC_f \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

kg-CH₄/kg-wst/s

- 酸素消費量

$$R_{O_2} = -\frac{\rho_d W_{doc}}{M_{O_2}} R_{O_2, max} \frac{W_{doc}}{K_W + W_{doc}} \frac{x_{O_2}}{K_{WO_2} + x_{O_2}}$$

kg-O₂/kg-C/s

	パラメータ	単位	値
求解	W_{doc}	mg-C/kg-wst	初期値 0.01
	W_{doc}^{ar}	mg-C/kg-wst	初期値 0
	W_{doc}^{an}	mg-C/kg-wst	初期値 0
好気分解	K_I^*	---	0.180
	n_e	---	1
	k^*	1/yr	2.0
嫌気分解	K_I	---	0.143
	n_n	---	1
	k	1/yr	0.2
酸素消費	$R_{O_2, max}$	g-O ₂ /g-C/yr	5.3
	K_W	---	?
	K_{WO_2}	---	?

準好気埋立地の安定化挙動解析

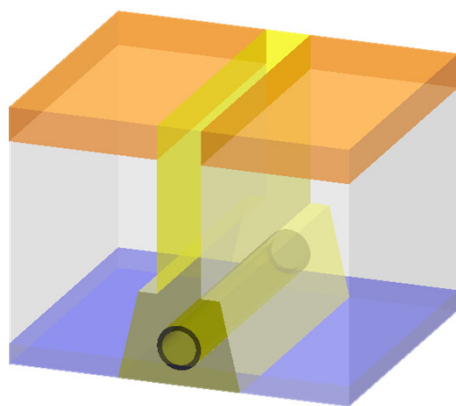
- 目的

埋立構造の違いで、酸素供給量や安定化速度は変わるか？

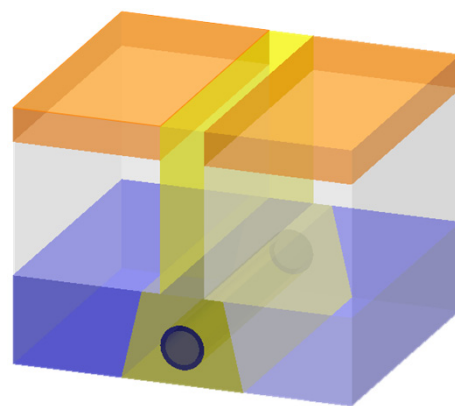
- 方法

- 断面二次元、非定常計算

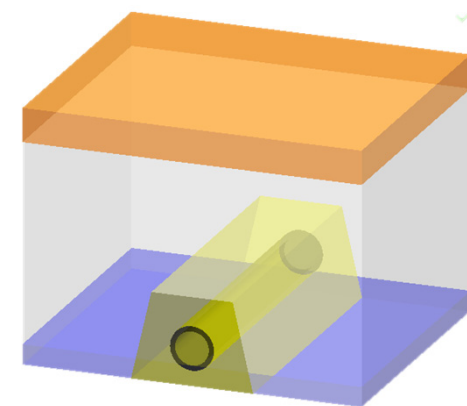
- 気液二相流、四成分ガス輸送、廃棄物分解モデル



準好気埋立

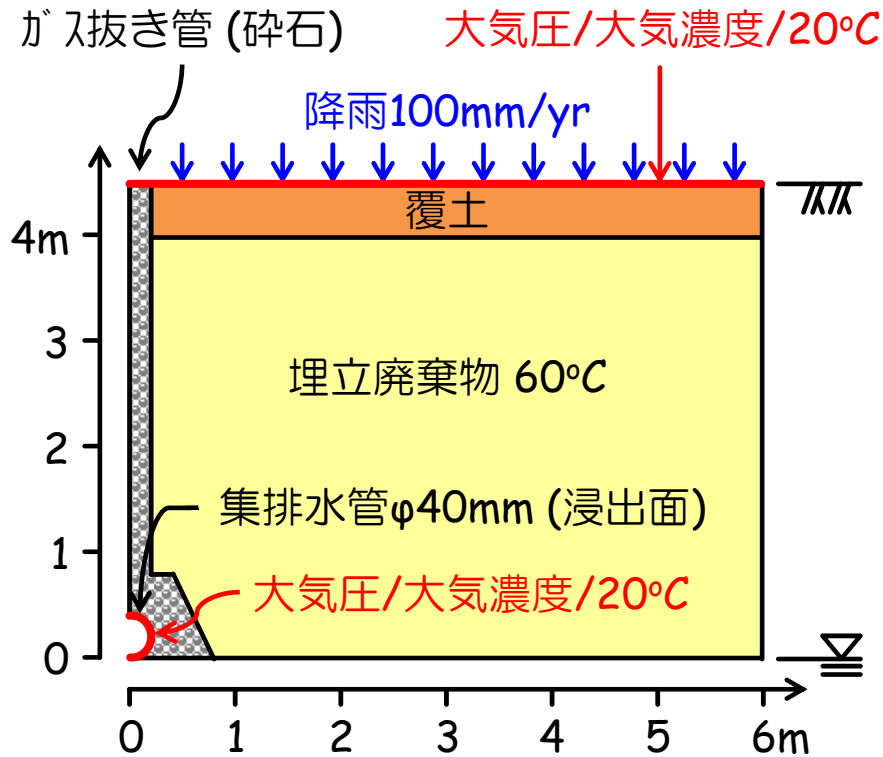


水没した準好気埋立



嫌気埋立

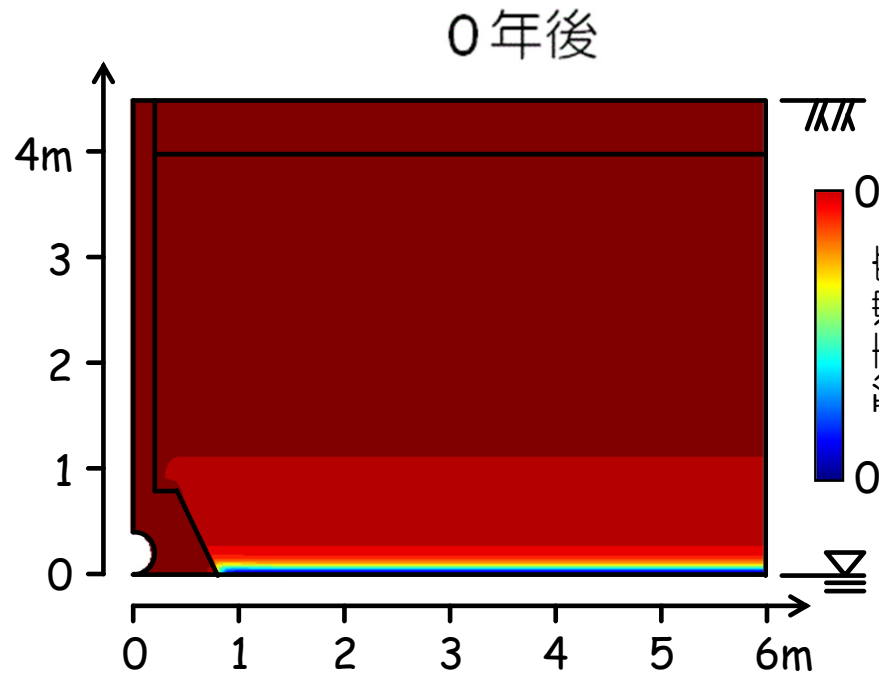
計算条件



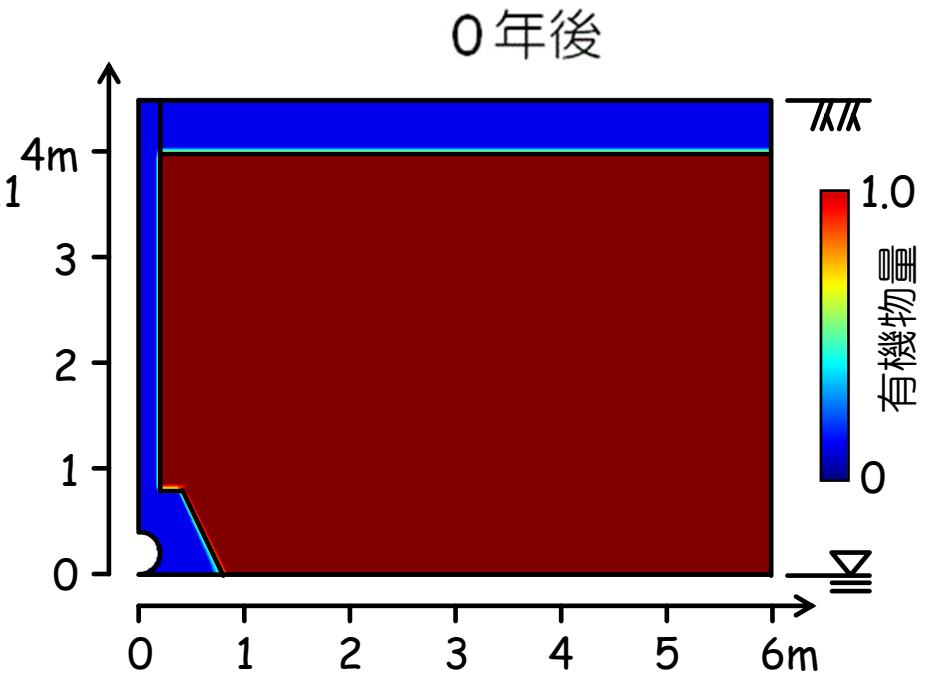
	廃棄物	覆土	砕石
乾燥密度 (kg/m ³)	1,200	1,800	1,500
固有透過度 (m ²)	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁰
間隙率	0.3	0.3	0.5
VGパラメータ α (m ⁻¹)	3.01	3.01	9.03
VGパラメータ n	1.56	1.56	3.24
残留水飽和度	0.15	0.15	0
残留ガス飽和度	0.15	0.15	0
屈曲率	Millington-Quirk		
比熱 (J/kg/K)	1,000	800	1,200
熱伝導 (W/m/K)	0.95	0.4	0.4

	密度 (kg/m ³)	粘性 (Ps*s)	拡散率 (m ² /s)	比熱 (J/kg/K)	熱伝導率 (W/m/K)
純CH ₄	状態方程式	サ-ラッド	Chap.-Enskog (相互拡散係数 を求める)	双曲線近似	多項式近似
純CO ₂	状態方程式	サ-ラッド		双曲線近似	多項式近似
純O ₂	状態方程式	サ-ラッド		双曲線近似	多項式近似
純N ₂	状態方程式	サ-ラッド		双曲線近似	多項式近似
混合	状態方程式	Wilke	(名称不明)	加重平均	(名称不明)

試算結果 (非定常)



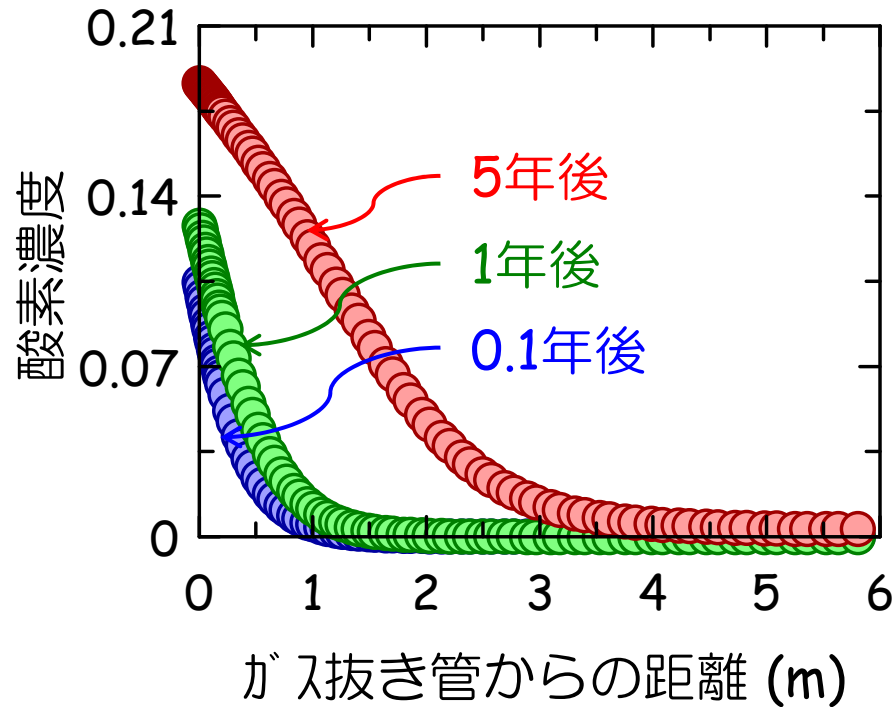
酸素濃度の時間変化



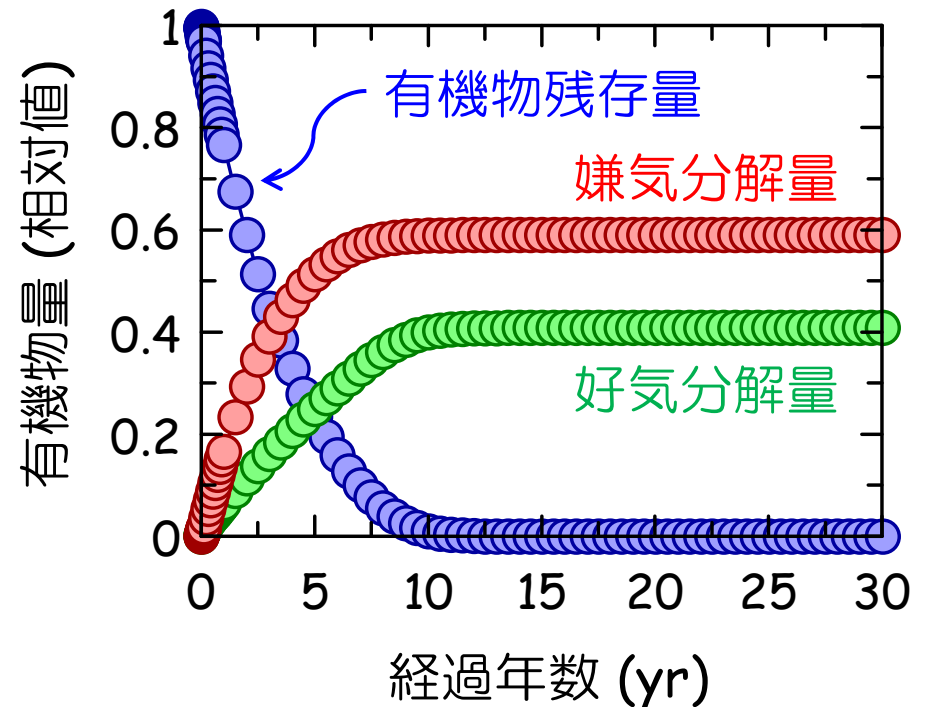
有機物量の時間変化

酸素、有機物量の時間変化を表現可能
→ 安定化期間の算出

酸素侵入深さと有機物量の時間変化



酸素濃度の予測結果



有機物量の予測結果

埋立層への酸素供給速度は、埋立地の構造のみならず、廃棄物の分解特性にも左右される。**Sub1との連携により、廃棄物の性状に応じた性能評価が可能となった。**